



UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN TÉCNICA REMODELACIÓN DE OBRA GRUESA MUELLE VERGARA V REGIÓN, VALPARAÍSO

Tesis para optar al
Título de Ingeniero Constructor

MARTÍN ANDRÉS VEGA VALENCIA

Prof. Guía: Sr. Aarón Aquiles Guajardo Á.

Índice

Agradecimientos	9
Resumen	10
Abstract.....	11
Capítulo 1: Introducción	12
1.1 Introducción	12
1.2 Objetivos generales y específicos	14
1.3 Antecedentes.....	15
1.4 Contexto de la investigación	18
Capítulo 2: Marco Teórico y conceptual.....	19
2.1 Definición de Muelle.....	19
2.2 Tipos de Muelle.	19
A) Por el calado o profundidad.	19
B) Por la carga.	20
C) Por la estructura.	20
D) Por su materialidad.....	22
E) Según la forma de contener el terreno adyacente.	22
2.3 Partes de un Muelle.....	25
2.4 Elementos estructurales de un muelle.....	26
2.4.1 Elemento de la Infraestructura.	26
2.4.2 Elemento de la Superestructura.	27
2.5 Factores que afectan la estructura de un muelle.....	27
2.5.1 Corrosión.....	27
2.5.1.1 Clasificación de niveles de corrosión.	28
2.6 Características de hormigones utilizados en la cimentación de muelles .	28
2.7 Colocación del hormigón bajo el agua.....	30
2.7.1 Cebado del tubo	32
2.7.2 Formación del bulbo	32
2.7.3 Vertido del hormigón.	33
Desarrollo del tema.....	34
Capítulo 3: Estado del Muelle Vergara previa remodelación.	34
3.1 Introducción	34

3.2 Análisis	34
3.2.1 Vigas metálicas.	34
3.2.1.1 Resultados del estado de las vigas longitudinales externas.	36
3.2.1.2 Daños en las vigas longitudinales externas metálicas.	38
3.2.1.3 Resultados del estado de las vigas transversales metálicas.....	41
3.2.1.2 Resultados del estado de las vigas longitudinales internas metálicas.	42
3.2.1.4 Remaches en las uniones de las vigas.	43
3.2.2 Pilas del Muelle Vergara	43
3.2.2.1 Tablaestacado.....	47
Capítulo 4: Análisis del método constructivo utilizado en la remodelación del Muelle Vergara.....	49
4.1 Demolición y retiro del tablero del muelle.....	49
4.2 Demolición y retiro de la estructura metálica.	49
4.3 Pilas del Muelle Vergara.....	49
4.3.1 Pilas número 1 y 16.	49
4.3.2 Pilas número 2 al 15 y número 17.....	53
4.4 Apoyos de las vigas.....	57
4.5 Vigas longitudinales y transversales.....	59
Conclusión	63
Bibliografía.....	65
Anexos.....	67

Índice de tablas

Tabla 1- Grados exposición que provocan corrosión.....	29
Tabla 2- Requisitos del hormigón según grado de exposición.....	30
Tabla 3- Cuadro resumen de resultados.....	37
Tabla 4- Cuadro resumen de resultados.....	38
Tabla 5- Cuadro resumen	40
Tabla 6- Cuadro resumen	41
Tabla 7- Dimensiones de las pilas	45
Tabla 8-Descripción de daños registrados.....	46
Tabla 9- Longitud del Tablaestacado.....	48
Tabla 10- Asentamiento de cono de Abrams	52
Tabla 11- Medidas vigas travesaño	61

Índice de figuras

Figura 1- Reparación Muelle Vergara	13
Figura 2- Pila Muelle Vergara	17
Figura 3- Pila Muelle Vergara	17
Figura 4- Vista panorámica de la Playa Acapulco.....	18
Figura 5- Muelle tipo marginal.....	21
Figura 6- Muelle tipo espigón.....	21
Figura 7- Solución mediante cajones de hormigón armado.....	23
Figura 8- Solución mediante bloques de hormigón prefabricado.....	23
Figura 9- Solución mediante la utilización de tablaestacas.....	24
Figura 10- Solución mediante la utilización de pilotes.	25
Figura 11- Hormigonado tipo Tremmie	31
Figura 12- Formación del bulbo	32
Figura 13- Hormigonado con tubo Tremmie	33
Figura 14- Distribución del envigado.....	35
Figura 15- Distribución del envigado.....	36
Figura 16- Estado Muelle Vergara	47
Figura 17- Tablaestacado de la pila número 11	48
Figura 18- Esquema reparación de las pilas número 1, 4, 5, 12, 13 y 16	51
Figura 19- Esquema de pilas con diversos grados de daño	52
Figura 20- Esquema soluciones constructivas frente a los daños presente en las pilas.....	54
Figura 21- Esquema de reparación de las pilas.....	56
Figura 22- Esquema de reparación de las pilas.....	57
Figura 23- Solución apoyos fijos de VL1, VL2 y VL3	58
Figura 24- Solución apoyos deslizantes de VL1, VL2, VL3, VL3* y VL13.....	58
Figura 25- Detalles de vigas longitudinales	59
Figura 26- Detalles de vigas longitudinales	60

Figura 27- Detalles de vigas longitudinales	60
Figura 28- Detalles de vigas transversales	61
Figura 29- Detalles de vigas travesaño secundarias	62

Índice de gráficos

Gráfico 1- Análisis de resultados	38
Gráfico 2- Análisis de resultados	39
Gráfico 3- Análisis de resultados	42

Índice de anexos

Anexo 1: Distribución envigado Muelle Vergara	67
---	----

Agradecimientos

A lo largo de este proceso, directa o indirectamente participaron distintas personas, opinando, corrigiéndome, teniéndome paciencia, dándome ánimo, acompañándome en los momentos de crisis y en los de felicidad. La construcción definitiva de mi Seminario de Título me ha permitido aprovechar la competencia y experiencia de muchas personas a quienes quiero agradecer en este apartado.

Al Señor Aarón Aquiles Guajardo, Ingeniero y mi tutor, le agradezco por creer en mi proyecto, por su guía y la motivación que me ha brindado en la investigación.

A mis padres, Mariela Valencia y Juan Luis Vega, por ser agentes de inspiración y renovar mis energías para salir adelante y concretar mi proyecto.

A mis amigos, por la paciencia.

Finalmente, me queda agradecer a Gabriela Fernández por su apoyo incondicional durante estos últimos años, y por la alegría que me otorga día a día.

Las palabras nunca serán suficientes para testimoniar mi aprecio y agradecimiento... A todos ustedes mi mayor reconocimiento y gratitud.

Resumen

El Muelle Vergara, ubicado en la comuna de Viña del Mar, ha sido utilizado desde el siglo XX para actividades relacionadas con la exportación e importación de múltiples productos. Con el paso de los años, por desgaste y falta de mantención, fue necesaria su reconstrucción.

El fundamento de esta tesis es presentar y evidenciar el estado constructivo del Muelle Vergara, así como también redactar el proceso técnico de remodelación de la infraestructura y superestructura.

Se realizó una recopilación de los antecedentes históricos del Muelle Vergara y de los estudios previos a los que se ha sometido para determinar el estado de deterioro, se describieron los conceptos claves para comprender el análisis técnico realizado al Muelle y todos los elementos previa remodelación, dando énfasis a su infraestructura, y se expuso el proceso de reconstrucción por elemento, señalando las soluciones constructivas adoptadas.

Mediante estudios ingenieriles y evidencias fotográficas, se pudo evidenciar el amplio desgaste en los principales componentes del muelle, por una parte, se observó que las vigas metálicas en sus diferentes disposiciones (longitudinal y transversal) presentaban pérdidas de sección y cortes, por otra parte, al analizar las pilas de hormigón armado se observó el desgaste y desprendimiento de secciones de hormigón dejando entrever la armadura de acero, provocando corrosión y deterioro. Como información relevante, se determinó el grado del hormigón componente del Muelle Vergara.

En el proceso de remodelación, ya sea en obra gruesa como en terminaciones del muelle Vergara, se incorporaron nuevas tecnologías, que en conjunto a las normas chilenas de construcción y un seguimiento constante a los procesos constructivos generaron una obra de calidad y seguridad óptima.

Abstract

Muelle Vergara, located in Viña del Mar, has been used since the XX century for activities related to the export and import of multiple products. Over the years, its reconstruction was necessary due to attrition and lack of maintenance.

The basis of this thesis is to present and demonstrate the constructive state of Muelle Vergara, and to draft the technical process of remodeling the infrastructure and superstructure.

A compilation was made of the historical background of Muelle Vergara and the previous studies that have been done to determine the state of deterioration, the key concepts were described to understand the technical analysis performed at the Dock and all the elements previous remodeling, giving emphasis to its infrastructure, and the process of reconstruction by element was exposed, pointing out the constructive solutions adopted.

Through engineering studies and photographic evidence, it was possible to see the extensive wear in the main components of the Dock, on the one hand, it was observed that the metallic beams in their different dispositions (longitudinal and transversal) presented section losses and cuts, on the other hand, when analyzing the reinforced concrete piles, the wear and detachment of concrete sections was observed, leaving between seeing the steel armor, causing corrosion and deterioration. As relevant information, the grade of the component concrete of Muelle Vergara was determined.

In the remodeling process, in heavy construction or in the completion of the Muelle Vergara, new technologies were incorporated which, together with the Chilean construction standards and constant monitoring of the construction processes, generated a work of optimum quality and safety.

Capítulo 1: Introducción

1.1 Introducción

Por lo general, los muelles están adaptados para realizar la unión entre el medio marítimo y el terrestre, dado esto, se establece que el muelle juega un rol fundamental en la economía del país, tanto en el desarrollo nacional como en el enlace e interacción internacional, ya que posibilitan la importación y exportación de productos a graneles sólidos, líquidos y materiales para la industria minera, agrícola, ganadera, etcétera.

Desde la época de la Colonia se han construido en nuestro país muelles de distintas dimensiones, en donde se efectuaba el intercambio de mercancía con los distintos Virreynatos existentes en aquella época como también con el continente Europeo. Con el paso de los años y con el aumento del intercambio comercial, se debieron construir numerosos puertos en el borde costero, principalmente en la V región de Valparaíso, y junto con esto se debió optar por nuevas tecnologías constructivas y operativas debido a la cantidad de embarcaciones y al variado diseño y/o calado que estas presentaban. Fue entonces cuando en el año 1892 en la ciudad de Viña del Mar, se llevó a cabo la construcción del Muelle Vergara, con el fin de facilitar el transporte de mercancías por distintos complejos industriales.

Con el declive del sector industrial en la ciudad de Viña del Mar durante los años 70, el Muelle entró en desuso hasta su remodelación en 1983, donde se convirtió en un atractivo paseo, mirador, lugar de restaurantes, cafeterías, artesanías y de actividades de pesca. En el año 2000, el Municipio de Viña del Mar declaró al Muelle Vergara como edificio histórico por su significado en la historia industrial de la ciudad. Pese a esto, el Muelle tuvo que ser clausurado en el año 2007 debido al deteriorado estado estructural y el consecuente peligro para los turistas y una seguidilla de incendios intencionales en 2009 destruyó parte del inmobiliario presente en el lugar.

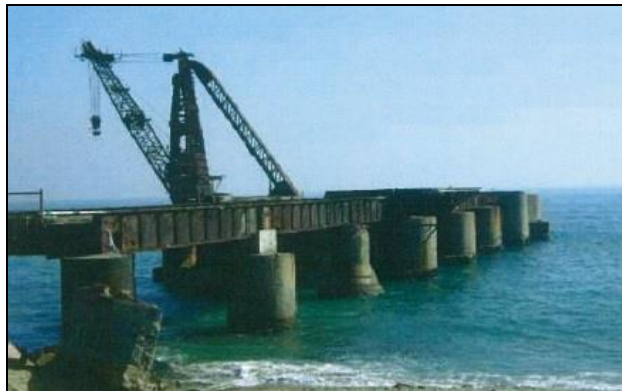
Dado esto, la Dirección de Obras Portuarias (DOP) inició un proceso de remodelación del borde costero a fin de generar un espacio público costero y reconstruir un sector emblemático de la ciudad.

En el año 2014, el Municipio de Viña del Mar llamó a una licitación a fin de restaurar el Muelle, los trabajos quedarán a cargo de la Dirección de Obras Portuarias, adjudicándose la licitación la empresa Constructora e Inmobiliaria Besalco S.A.

“En la actualidad, desde un punto de vista estructural, el muelle ha sido desprovisto de toda la superestructura así como de las edificaciones que permanecían en abandono. Se ha mantenido el conjunto de ocho cepas conformadas por pilas de hormigón de diámetro y forma variable, la estructura del puente de acceso, el reticulado de vigas de acero (tanto las originales como las vigas reticuladas que fueron instaladas hace 10 años atrás aproximadamente) y la grúa que se ubica a un costado del muelle...” (Ministerio de obras públicas, 2014)

Este estudio se basó en la reparación y remodelación del Muelle Vergara, describiendo la fase operacional, técnica y constructiva que fue llevada a cabo en el año 2015.

Figura 1- Reparación Muelle Vergara



Fuente: Memoria explicativa, MOP

1.2 Objetivos generales y específicos

General :

- Evaluar técnicamente el proceso constructivo en la etapa de obra gruesa de la remodelación del Muelle Vergara, ubicado en la V región de Valparaíso, llevado a cabo el año 2014.

Específicos :

- Analizar el proceso constructivo de la infraestructura y superestructura del Muelle Vergara en las etapas anterior y posterior a su remodelación, específicamente las pilas y vigas del muelle.
- Describir el método constructivo utilizado en la remodelación del Muelle Vergara en su etapa de obra gruesa.

1.3 Antecedentes

El Muelle Vergara ha sido considerado como un icono turístico durante el último tiempo, más aún estando ubicado en la comuna de Viña del Mar, región de Valparaíso, pero desde el siglo XX fue utilizado en gran parte para el movimiento de mercancías como materia prima hacia la refinería de azúcar y para descarga de carbón proveniente de Lota, utilizados en la producción industrial, siendo de gran importancia para el desarrollo del país ya que no existían medios de transporte y tecnología.

Dada su antigüedad y a falta de mantención, fue inminente su deterioro, sumado al mal uso de este durante años y sumado a un posterior incendio, fue necesaria una reconstrucción tanto en su infraestructura, accesos, obras de defensa y superestructura.

Un muelle puede ser definido como una obra construida en la orilla del mar o en los márgenes de un río o canal navegables, destinada al atraque de los buques que han de embarcar y desembarcar mercancías o pasajeros. (Aliaga, G. & Castillo, C, p. 14)

Generalmente los muelles son macizos de mampostería u concreto armado o están formados por pilotes que soportan un tablero horizontal (Aliaga, G & Castillo, C. (2009). Aspectos relevantes de cimentación con pilotes y proceso constructivo de muelle artesanal (tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas , Lima, Perú.)

La finalidad de la reconstrucción del Muelle Vergara, es recuperar un monumento tradicional de la ciudad de Viña del Mar, representante de la historia de la región de Valparaíso y el rescate como legado para las generaciones venideras.

El sistema de construcción empleado principalmente se basó en:

- Demolición y reemplazo del muro estribo y de contención
- Reemplazo de la plataforma del muelle y modificación de la estructura
- Reparación superficial de pilas
- Mejoramiento de la explanada y acceso al muelle
- Urbanización de explanada y muelle

En un estudio realizado en el año 2007 por la empresa RFA, encargada de la inspección de obras, tenía como objetivo el análisis del hormigón y de las estructuras metálicas como también el estado de conservación de estas. El estudio señaló ciertos daños estructurales presentes en el envigado de la estructura dado el alto grado de corrosión de las vigas, ya que no estaban provistas de la protección superficial necesaria para este tipo de locación.

Este informe señalaba también la reposición o remoción total del tablero actual existente, debido a la corrosión, pérdida de espesores, laminación de apoyos, pérdidas de sección de los remaches, entre otros, lo que hace recomendable su demolición y posterior reemplazo.

Figura 2- Pila Muelle Vergara



Fuente: MOP

En el caso del hormigón, se estableció un G15 dada la antigüedad del Muelle Vergara, este se encontraba con cierto deterioro debido a la acción de elementos químicos, y en el caso de las pilas sumergidas, el hormigón utilizado no era impermeable o no contaba con impermeabilización, fue aceptando ciertos componentes como iones cloruro, que lo atravesaron, modificaron su pH y a la postre contaminaron.

Figura 3- Pila Muelle Vergara



Fuente: MOP

1.4 Contexto de la investigación

La comuna de Viña del Mar, se ubica en la región de Valparaíso, a 120 Km de Santiago.

Viña del Mar se caracteriza por la gran cantidad de áreas verdes presentes y su extensos prados y jardines, con especies florales y árboles nativos. Además, sus autoridades destinan recursos para la preservación de espacios públicos e históricos como el tipo de áreas verdes ya mencionadas.

En la actualidad, Viña del Mar cuenta con un gran número de habitantes, creciendo exponencialmente hacia un desarrollo sustentable e innovador a través del turismo, cultura y las artes.

Figura 4- Vista panorámica de la Playa Acapulco



Fuente: www.patrimoniovina.cl

Capítulo 2: Marco Teórico y conceptual

2.1 Definición de Muelle.

Estructura emplazada en la ribera de un río, o en la costa del mar, destinado al atraque de variadas embarcaciones y al transporte de mercancía.

Los muelles pueden ser de madera o de hormigón armado compuestos por pilotes y de una superestructura de acero, capaz de soportar variadas cargas no uniformes que serán desplazadas sobre este y que deben ser movilizadas con eficacia y eficiencia.

2.2 Tipos de Muelle.

Se establecen varios tipos de muelles según distintos parámetros a considerar.

A) Por el calado o profundidad.

- Muelles de alto bordo.

Cuando la zona de atraque se encuentra establecida a una profundidad de 3 a 4 metros.

- Muelles de mediano bordo.

Cuando la zona de atraque se encuentra establecida a una profundidad de 5 a 8 metros.

- Muelles de bajo bordo.

Cuando la zona de atraque se encuentra establecida a una profundidad de 8 a 15 metros.

B) Por la carga.

- Muelles pesqueros.

Son aquellos que sirven a flotillas pesqueras, generalmente no necesitan gran calado o dársenas y las embarcaciones que aloja no son de gran calado o longitud.

Precisan o necesitan gran longitud de atraque debido a las instalaciones que se requieren para este puerto, ya sea fábricas de hielo o frigoríficos.

- Muelles comerciales.

Destinados a recibir a grandes embarcaciones.

- Muelles mineros.

Destinados al almacenamiento y transporte de materias primas utilizadas en la industria minera.

- Muelles militares.

Destinados a albergar a distintos navíos de la Armada de Chile.

- Muelles de reparación.

- Muelles deportivos.

C) Por la estructura.

- Muelle marginal: Es aquel muelle que está dispuesto de forma paralela a la orilla ya sea de río o de playa, en donde el atraque de los barcos se establece de la misma forma.

Figura 5- Muelle tipo marginal



Fuente: <http://jaimeargudo.com>

- Muelle espigón: Es aquel muelle con disposición perpendicular a la orilla de la playa o río, en donde los barcos pueden atracar por ambos lados de la estructura.

Figura 6- Muelle tipo espigón



Fuente: <http://infraestructuraperuana.blogspot.cl/>

D) Por su materialidad.

Los muelles se pueden definir según su materialidad tanto como en su infraestructura, ya sean fundaciones con pilotes de madera, pilotes de acero hincados con martinete¹, pilotes preexcavados de hormigón armado o de pilas de hormigón armado, tal es el caso del Muelle Vergara.

En la superestructura, los muelles se pueden estructurar con tablero de madera y las vigas pueden ser conformadas de madera, pero dada su configuración pueden cubrir pequeñas luces o de hormigón armado y vigas Doble T de acero estructural que pueden alcanzar luces de mayor amplitud respecto a la madera.

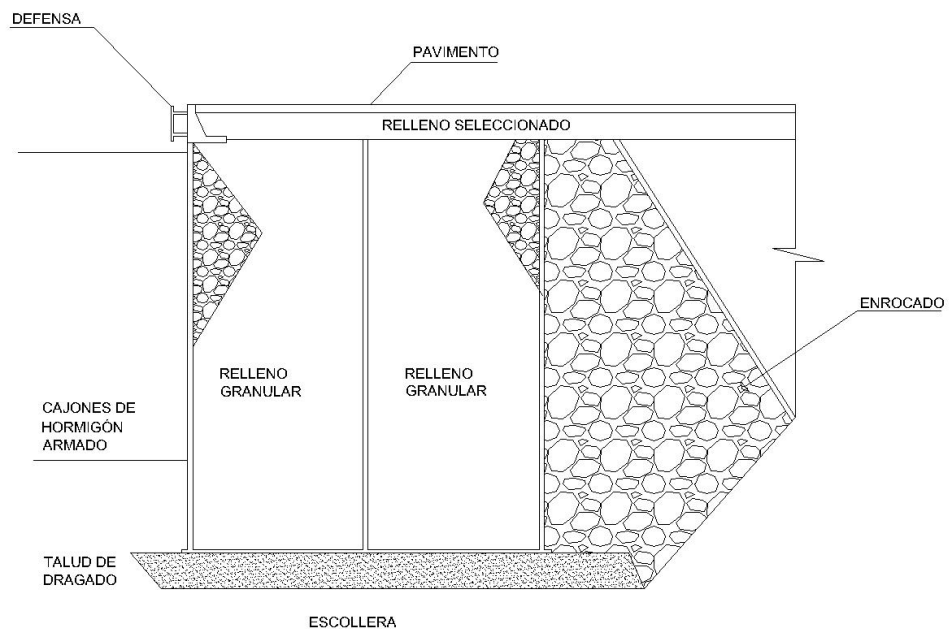
E) Según la forma de contener el terreno adyacente.

Existen distintos tipos de soluciones estructurales para la contención del terreno adyacente al muelle.

- Una se denomina de gravedad y es el caso de los muelles que utilizan su propio peso para contener el terreno; para esto se utilizan generalmente bloques de hormigón armado, cajones de hormigón rellenos de material granular o, en el caso de muelles pequeños y medianos, cajones hormigonados in situ mediante la utilización del tubo Tremmie.

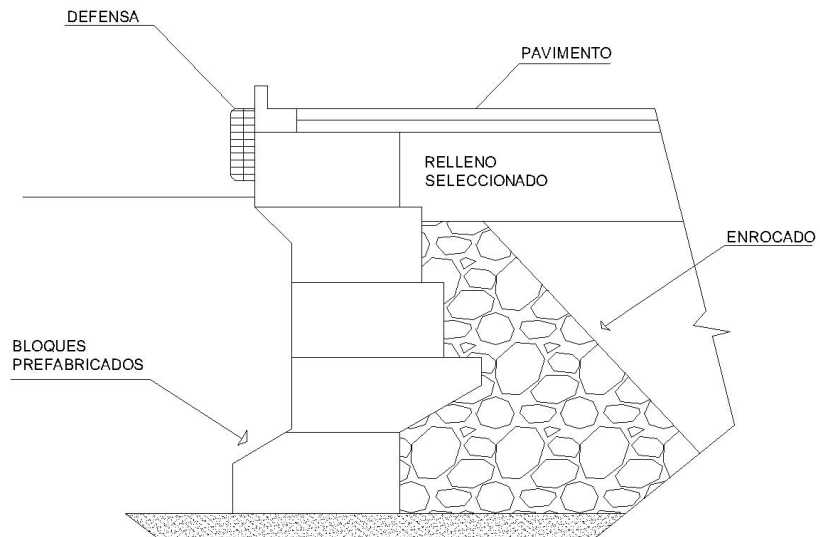
¹ Maquinaria capaz de transformar la presión producida por su sistema hidráulico, principalmente aceite en energía mecánica.

Figura 7- Solución mediante cajones de hormigón armado.



Fuente: Elaboración propia

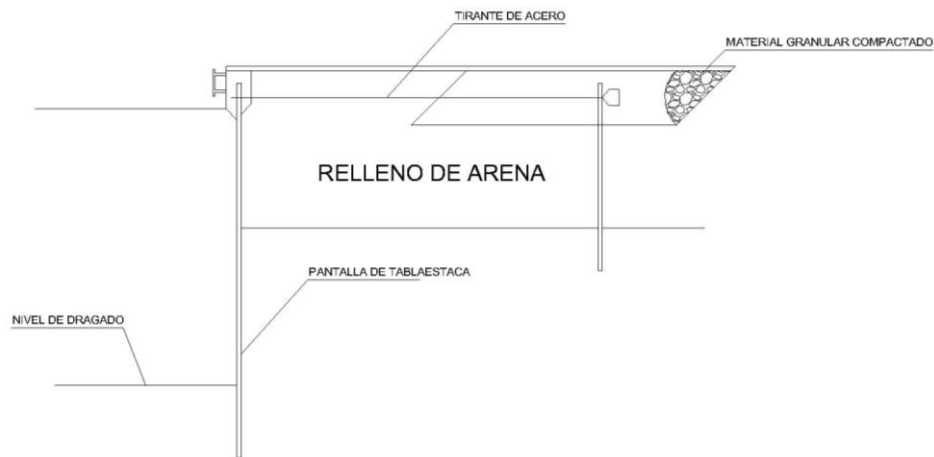
Figura 8- Solución mediante bloques de hormigón prefabricado.



Fuente: Elaboración propia

- Otra se denomina pantalla, la que se utiliza principalmente cuando el terreno de asentamiento del muelle es de tipo granular con densidades relativamente buenas. Consiste en la instalación de tablaestacas separadas entre sí, que posteriormente son tensadas mediante cuerdas de acero.

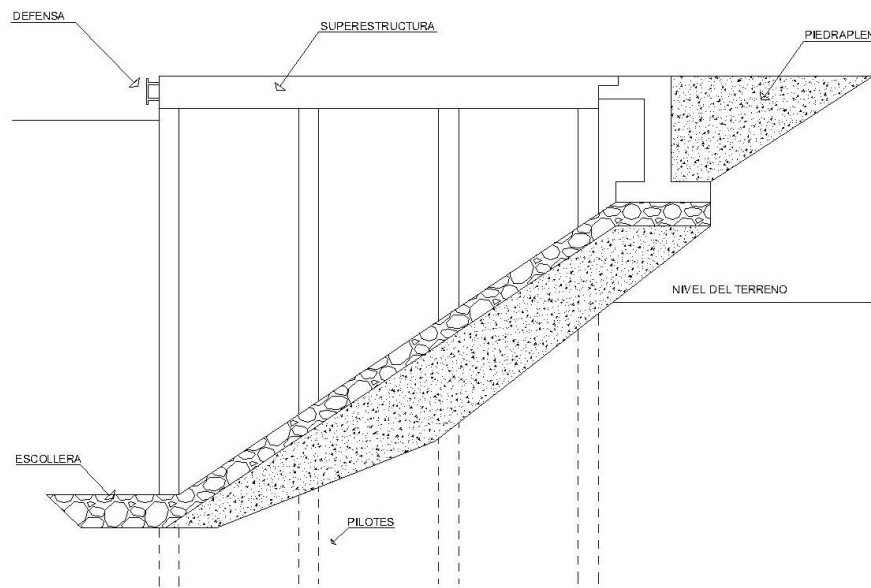
Figura 9- Solución mediante la utilización de tablaestacas



Fuente: Elaboración propia

- El último caso es la utilización de pilotes, encargados de transmitir el esfuerzo cortante al terreno en conjunto de un talud reforzado mediante escollera o enrocado. Cabe señalar que debe cumplir con las propiedades cementicias mínimas exigidas en la normas chilenas.

Figura 10- Solución mediante la utilización de pilotes.



Fuente: Elaboración propia

2.3 Partes de un Muelle.

En un muelle se pueden denotar las siguientes partes:

- Molón de acceso.

Está conformado por un sistema de terraplén o de relleno, el cual debe ser afirmado y compactado. Sus taludes están protegidos por un enrocado afirmado por gravedad como medio de protección contra la erosión del mar.

- Puente.

Es el tramo inicial del muelle, que va desde el acceso hasta el cabezo, y tiene como finalidad simplificar el tránsito de personas y mercancías.

- Cabezo.

Es la parte más ancha donde termina el muelle, en este se realizan la mayoría de las operaciones en el muelle, tanto como carga y descarga mediante grúas colocadas en el mismo muelle. El ancho de este se determina por proyecto, dado los requerimientos.

La conformación del cabezo es similar a la del puente, sólo que está provisto de un defensas para disminuir el impacto de las embarcaciones y además que la separación de los pilotes es menor o igual a la del puente.

- Defensa

Cubre los bordes de atraque del muelle y su finalidad es proteger y disipar la energía del impacto al muelle proveniente del impacto directo de las embarcaciones.

2.4 Elementos estructurales de un muelle

2.4.1 Elemento de la Infraestructura.

- a) Pilotes o pilas de hormigón: elementos de variable longitud que mediante el hincamiento del mismo transmiten las cargas al terreno, ya que la estructura debido a su deformidad no puede realizarlo, se pueden categorizar por varios aspectos, tales como:
 - Según la transmisión de carga al suelo, puede ser de forma de columna, que consiste en la colocación de la pila en los estratos de mayor rigidez y firmeza como también aquellos llamados flotantes o de rozamiento, en el cual el pilote se asienta mediante el roce de la pila con el estrato del suelo.

- Según la tipología de puesta en obra, puede ser por desplazamiento o hincados que se caracteriza principalmente porque el pilote queda de forma confinada generando una fuerte adhesión entre la pila y el estrato.

2.4.2 Elemento de la Superestructura.

- Vigas longitudinales: Elementos con disposición horizontal, distribuidos paralelamente a los ejes del muelle, encontrándose en la totalidad de la estructura del muelle y que son dimensionados para transmitir las cargas a los elementos de apoyo vertical.
- Vigas transversales: Elementos estructurales que se disponen perpendicularmente a los ejes del Muelle, cuya finalidad es soportar mediante fijaciones el tablero estructural.
- Losas intermedias: Elementos estructurados y colocados in situ, que pueden ser de distinta materialidad, cuya función es cubrir el área conformada entre dos vigas transversales, a fin de otorgar uniformidad al muelle.

Los elementos estructurales que constituyen un muelle son sometidos tanto a cargas vivas, de tránsito, carga de equipos móviles y cargas muertas como sismo, viento, oleaje, además del peso propio del muelle que sostienen las pilas.

2.5 Factores que afectan la estructura de un muelle

2.5.1 Corrosión.

Es el ataque destructivo de un metal por reacción química o electroquímica con su medio ambiente (Miguel Ángel Bermúdez Odriozola (2007). Corrosión de las armaduras del hormigón armado en ambiente marino: zona de carrera de mareas y zona sumergida (Tesis doctoral) Universidad Politécnica de Madrid, España) que afecta progresivamente estructuras, tales como vigas o estructuras de hormigón armado.

2.5.1.1 Clasificación de niveles de corrosión.

- Corrosión tipo A: se define como daño muy grave con pérdida de notorios volúmenes de acero (pérdida total).
- Corrosión tipo B: se define como daño muy grave que a primera vista no presenta perforaciones en su superficie, pero que una vez aplicada la acción moderada de un martillo pica sal, se evidencia perforaciones y desprendimiento de capas de óxidos (pérdida total).
- Corrosión tipo C: se define como daño grave, sin perforaciones a la acción del martillo pica sal, pero con un espesor de acero disminuido en orden del 50% del espesor de referencia (pérdida parcial).
- Corrosión tipo D: se define como daño grave, sin perforaciones a la acción del martillo pica sal, con superficies disparejas con espesor promedio del orden del 70% del espesor de referencia (sectores recuperables).

2.6 Características de hormigones utilizados en la cimentación de muelles

Dada las condiciones en donde se sitúan los muelles con una constante exposición al ambiente salino provocada por el oleaje o las marejadas, generan un desgaste tanto en las fundaciones como en el envigado componente del muelle.

Dada esta situación, cuando el hormigón armado no es impermeable se ve expuesto al ataque de los halógenos, que lo penetran y lo contaminan. Tal es el caso de los cloruros, que está en grandes cantidades en el agua de mar y es el más dañino para el hormigón armado, provocando una mejora en su conductividad eléctrica y con esto una serie de reacciones químicas, lo que conlleva a una variación en el ph del hormigón armado pasando de básico (Ph 11-12) y con la incorporación de iones cloruro (Cl^-) a un ph cercano al 9,5, iniciándose con esto la acción corrosiva de oxidante de la armadura, reduciendo su sección.

Según la Nch 170. Of 2016, determina ciertos grados de exposición que provocan corrosión.

Tabla 1- Grados exposición que provocan corrosión

Grado		Agente externo	Exposición en condiciones de servicio
C0	No agresivo	No aplica	Hormigón seco o protegido de la humedad ambiental
C1	Leve	CO_2	Hormigón húmedo expuesto a altas concentraciones de CO_2
C2-A	Moderado	Cloruro	Hormigón sumergido completamente en agua que contiene cloruro
C2-B	Severo	Cloruro	Hormigón húmedo expuesto a aire salino
C2-C	Muy severo	Cloruro	Hormigón expuesto a ciclos de humedad y a una fuente externa de cloruro proveniente de productos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen

Fuente: Instituto Nacional de Normalización. Norma NCh170. Hormigón – Requisitos generales. (2016).

“Cuando se adoptan medidas especiales de protección del hormigón, tales como la utilización de materiales de protección de las armaduras, la utilización de refuerzos resistentes a la corrosión, la utilización de ánodos de sacrificio (protección catódica), o cualquier otra medida protectora del hormigón o de las armaduras, estas medidas se deben considerar al asignar el grado de exposición”. (Instituto Nacional de Normalización (2016). Hormigón-Requisitos generales (Nch170.Of 2016). Santiago, Chile)

Además la Nch 170. Of 2016 establece los requisitos mínimos en cuanto a la dosis mínima de cemento o profundidad de penetración de agua.

Tabla 2- Requisitos del hormigón según grado de exposición

Grado de exposición	Mínimo grado de resistencia especificado Mpa	Dosis mínima de cemento kg/m ³	Profundidad de penetración de agua según Nch2262 mm
C0	G17	-	-
C1	G17	270	≤ 50
C2-A	G20	300	≤ 40
C2-B	G25	330	≤ 30
C2-C	G35	360	≤ 20

Fuente: Instituto Nacional de Normalización. Norma NCh170. Hormigón – Requisitos generales. (2016).

Una consideración constructiva a fin de evitar la abrasión de la exposición constante del hormigón frente a los cloruros es que este debería presentar una terminación lisa además de un curado efectivo que generará superficies antiabrasivas en conjunto de moldajes metálicos vibratorios.

2.7 Colocación del hormigón bajo el agua

La exitosa colocación del hormigón bajo agua requiere cuidadosa planificación y atención. El hormigón debe fluir fácilmente hacia el lugar de su ubicación y consolidarse bajo su propio peso sin segregación o vibración que pueda incorporar agua a su masa, lavando el cemento, con la consecuente formación de bolsones de arena y grava débilmente cementados. (FIUBA, Departamento de Construcciones y Estructuras. (2009). Colocación de hormigón bajo el agua por el procedimiento Tremie. Recuperado de <http://materias.fi.uba.ar/7411/curso/TP2/teoria/tremie.pdf>)

El tubo Tremmie es una vertical de acero donde su extremo superior tiene forma de embudo, mientras que su extremo inferior no tiene contacto directo con el agua.

La inspección visual del proceso de hormigonado suele ser imposible, por lo que se debe verificar el volumen de hormigón inserto dentro del tubo y la altura en que se encuentra.

La colocación del hormigón con tubo Tremmie debe ser un proceso sumamente controlado, presentándose como el más importante dentro de lo que respecta cimentación de muelles, puesto que si no se considera un buen control podría generar un exceso de lechada de cemento y una segregación severa.

El hormigonado tipo Tremmie posee dos tipos, el vaciado húmedo y el vaciado seco. Para fundaciones de pilas sumergidas se utiliza el vaciado húmedo puesto que el método seco se inserta un embudo metálico con el extremo inferior sellado pero puesto que este método resulta dificultoso debido a la fuerza de flotabilidad, por lo tanto se utiliza para fundaciones profundas el vaciado tipo húmedo.

Figura 11- Hormigonado tipo Tremmie



Fuente: Sistemas de colocación de hormigón bajo agua en ambiente marino, Arellano, Morales.

El hormigonado con este método consta de tres fases u operaciones.

- Cebado del tubo
- Formación del bulbo
- Vertido

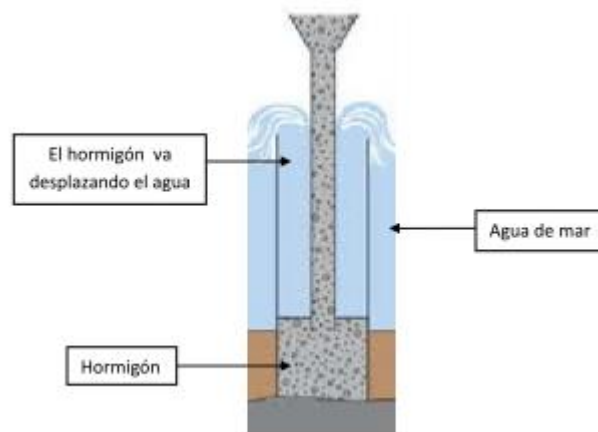
2.7.1 Cebado del tubo

Consiste en la aplicación de cemento y agua, o más bien llamada lechada, a las paredes internas del embudo metálico o Tremmie a fin de que el hormigón fluya uniformemente a través del tubo evitando atascamiento del hormigón dentro de este.

2.7.2 Formación del bulbo

Consiste en la formación de un bulbo en la base a raíz del avance del hormigón debido a la resistencia superficial del terreno. En consecuencia, la tensión superficial genera el avance del hormigón a través del tubo Tremmie que debe estar inserto en él y no debe estar a más de 30 centímetros de la base a modo de evitar segregación y lavado del hormigón.

Figura 12- Formación del bulbo



Fuente: Sistemas de colocación de hormigón bajo agua en ambiente marino, Arellano, Morales.

2.7.3 Vertido del hormigón.

Se puede efectuar el vertido del hormigón mediante bombas pluma con brazo hidráulico a modo de tener un flujo constante de vaciado del hormigón para que no se descebe y así evitar el ingreso de agua a la mezcla.

Figura 13- Hormigonado con tubo Tremmie



Fuente: Obras Portuarias: Problemas y soluciones en el hormigón, UCAM, Rodríguez.

Desarrollo del tema

Capítulo 3: Estado del Muelle Vergara previa remodelación.

3.1 Introducción

El Muelle Vergara se encuentra presente en la V región de Valparaíso, tiene una edad estructural cercana a los 125 años por lo que su deterioro al pasar el tiempo era inminente y una serie de incendios intencionales en el año 2009 terminarían por deteriorar el muelle, ícono de lo que fue la “Ciudad Jardín” en sus inicios. La parte más afectada fueron las zonas de tránsito, las losas intermedias y vigas longitudinales, sumado a un desgaste notorio en lo que respecta a la infraestructura del Muelle, principalmente por la corrosión, erosión del mar y sus efectos químicos.

Además de esto, se suma el hecho de que fue utilizado para diversas actividades, entre ellas se encuentra el carguío de materias primas durante gran parte de su vida funcional para luego ser utilizada por el comercio de artesanía, y luego de su remodelación y hasta el día de hoy es utilizado como paseo peatonal.

3.2 Análisis

El Muelle Vergara se encontraba después del incendio en un estado deplorable como lo menciona un informe escrito por la empresa RFA llamado “Estudio sobre el estado estructural del muelle Vergara”, en el cual se analizó las pilas, el tablero, el envigado metálico y tablero de hormigón armado.

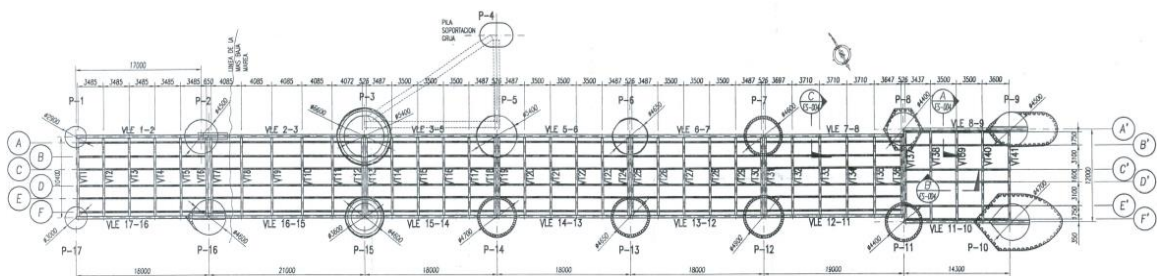
3.2.1 Vigas metálicas.

Principalmente todas las vigas metálicas encontradas en la inspección en terreno del Muelle Vergara fueron ensambladas y acopladas mediante escuadras unidas con remaches. El Muelle en un principio constaba de 41 vigas transversales de dimensiones 1,25 metros de alma y 0,25 metros de ala, con espesor nominal no especificado o encontrado.

El envigado longitudinal constaba de dos vigas doble T principales ubicadas en cada extremo del Muelle, en el sector denominado cabeza en el cual se encuentran las pilas número 8, 9, 10 y 11 las dimensiones de las vigas son 1,27 metros de alma y 0,34 metros de ala con un espesor no especificado. En el resto de la estructura, las dimensiones de las vigas son de 1,77 metros de alma y 0,34 metros de ala con espesor no definido. Este conjunto de vigas cuenta además con seis vigas dispuestas longitudinalmente de menor tamaño y que se apoyan mediante escuadras sostenidas a las vigas transversales y tienen una dimensión de 0,32 metros de alma por 0,15 metros de ala. Estas, son alrededor de 30 y forman una especie de malla estructural que están distribuidas entre 4 pilas de forma continua exceptuando el cabeza que está compuesto por 24 vigas de menor tamaño, dando un total de alrededor de 204 vigas longitudinales.

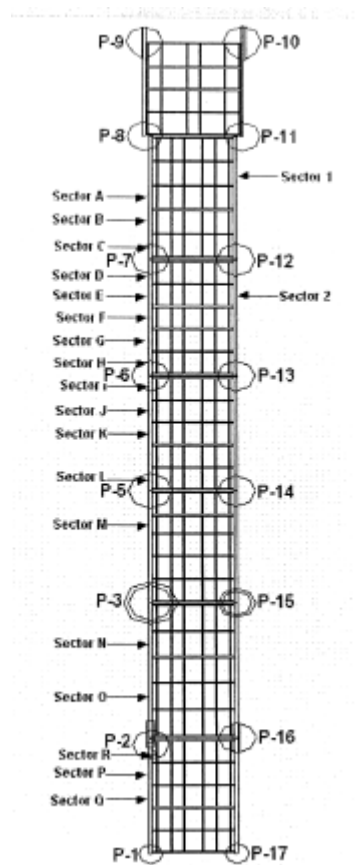
En el informe desarrollado por la empresa RFA se determinan tres tipos de vigas conocidas como VT (vigas transversales) que va desde la VT1 a la VT4 1 a medida que se extienden las vigas a través de la estructura, las vigas longitudinales externas se denominan VLE en donde los números indican donde la viga se apoya en la pila del muelle, y por último las vigas longitudinales internas (VLI N°- eje) en donde el número que acompaña a las siglas será la viga transversal donde se apoya la viga longitudinal, con su respectivo eje (A, B, C, D, E, F)

Figura 14- Distribución del envigado



Fuente: Informe Final, Estudio sobre el estado estructural del Muelle Vergara, RFA (2007).

Figura 15- Distribución del envigado



Fuente: Informe Final, Estudio sobre el estado estructural del Muelle Vergara, RFA (2007).

3.2.1.1 Resultados del estado de las vigas longitudinales externas.

El equipo utilizado para la medición se denomina CIGNUS I, es un artefacto que mediante un pulso de ultrasonido de triple eco penetra el material ignorando la pintura que lo recubre y entrega como información el espesor del material estudiado acogiéndose a la norma ASTM².

² Organización internacional que genera normas técnicas para materiales, productos, entre otros.

Tabla 3- Cuadro resumen de resultados

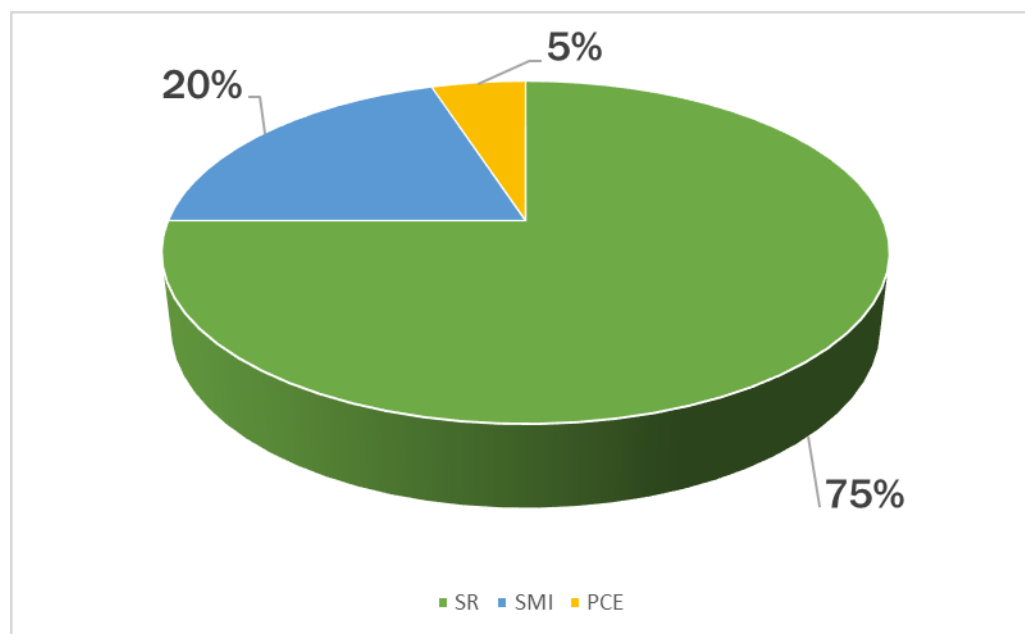
Viga	Sector	Espesor Prom.	Observaciones	Variación	Espesor Final
VLE 1-2	R	12,1 mm	SR	0	12,1 mm
VLE 1-2	Q	12,27 mm	SMI	20%	9,8 mm
VLE 1-2	P	7,2 mm	SMI	20%	5,8 mm
VLE 2-3	O	Perforación	PCE	-	0 mm
VLE 2-3	N	12,39 mm	SMI	20%	9,9 mm
VLE 3-5	M	6,4 mm	PCE	-	6,4 mm
VLE 5-6	L	Pérdida Total	PCE	-	0 mm
VLE 5-6	K	9,3 mm	SMI	20%	7,4 mm
VLE 5-6	J	11,93 mm	SMI	20%	9,5 mm
VLE 5-6	I	12,24 mm	SMI	20%	9,8 mm
VLE 6-7	H	11,76 mm	SMI	20%	9,4 mm
VLE 6-7	G	Pérdida Total	PCE	-	0 mm
VLE 6-7	F	11,89 mm	SMI	20%	9,5 mm
VLE 6-7	E	11,81 mm	SMI	20%	9,4 mm
VLE 6-7	D	11,83 mm	SMI	20%	9,5 mm
VLE 7-8	C	7,69 mm	SMI	20%	6,2 mm
VLE 7-8	B	11,99 mm	SMI	20%	9,6 mm
VLE 7-8	A	12,38 mm	SMI	20%	9,9 mm
VLE 11-12	1	12,43 mm	SMI	20%	9,9 mm
VLE 12-13	2	10,03 mm	SMI	20%	8,0 mm

Fuente: Informe Final, Estudio sobre el estado estructural del Muelle Vergara, RFA (2007).

- PCE: Pérdida de las características estructurales.
- SMI: Superficie muy irregular (rugosidad alta).
- SR: Superficie regular.

Según los estudios realizados se pudo dilucidar que los sectores 1, 2, A, B, D, E, F, H, I, J, N, Q son sectores recuperables con tratamientos mientras que C, G, K, L, M, O y P posee daños estructurales considerables y deben ser reemplazadas. En tanto que el sector R fue tomado como sector de referencia, debido a su buen estado, dado que cumple las exigencias mecánicas solicitadas a la estructura.

Gráfico 1- Análisis de resultados



Fuente: Elaboración propia (2017).

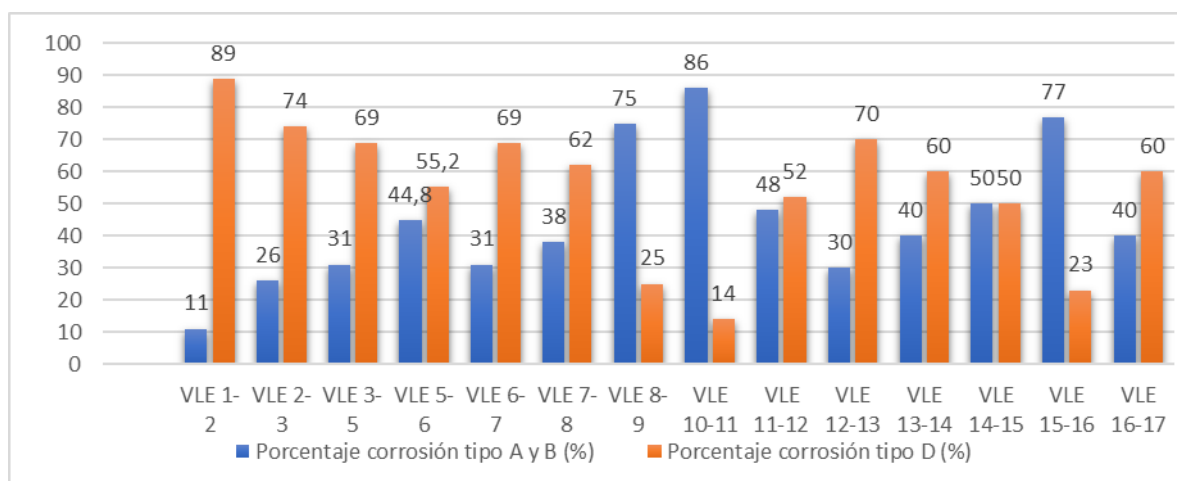
3.2.1.2 Daños en las vigas longitudinales externas metálicas.

Tabla 4- Cuadro resumen de resultados

Viga	Superficie local total (m ²)	Superficie corrosión tipo A y B	Porcentaje corrosión tipo A y B (%)	Porcentaje corrosión tipo D (%)
VLE 1-2	32,4	3,6	11	89
VLE 2-3	37,8	9,8	26	74
VLE 3-5	32,4	9,8	31	69
VLE 5-6	32,4	14,5	44,8	55,2
VLE 6-7	32,4	9,8	31	69
VLE 7-8	34,2	13	38	62
VLE 8-9	18,6	14	75	25
VLE 10-11	18,6	16	86	14
VLE 11-12	34,2	16,5	48	52
VLE 12-13	32,4	9	30	70
VLE 13-14	32,4	13	40	60
VLE 14-15	32,4	16,3	50	50
VLE 15-16	37,8	29	77	23
VLE 16-17	32,4	13	40	60

Fuente: Elaboración propia (2017).

Gráfico 2- Análisis de resultados



Fuente: Elaboración propia (2017).

Observaciones:

- La viga longitudinal externa 1-2 presenta daño de tipo A y B con pérdida parcial del alma de la viga.
- La viga longitudinal externa 2-3 presenta daño tipo A y B
- La viga longitudinal externa 3-5 presenta daño tipo B
- La viga longitudinal externa 5-6 presenta daño tipo A y B. En el apoyo de la viga en la pila se observa daño tipo B.
- La viga longitudinal externa 7-8 se observan daño de tipo B incluyendo en el apoyo de la viga en la pila.
- Los apoyos de las vigas, principalmente en las pilas de la viga longitudinal externa 8-9 se presenta daño tipo B, en el resto de la viga se encuentra daño tipo C.
- En los sectores de apoyo de la viga longitudinal externa, correspondiente a la pila 10 y 11 se presenta daño tipo A mientras que en lo que respecta al resto de la estructura de la viga presenta daño tipo C.
- En el sector de apoyo de la viga en la pila número 12 se presentó daño tipo D mientras que en el extremo de la viga hubo presencia de daño tipo A y B.

- En la gran parte de la viga se presenta daño tipo D, mientras tanto en el apoyo en la pila número 13 se presenta corrosión del tipo A y B, como también en el extremo de la pila número 14.
- En el área de apoyo de la viga, en la pila número 14 se encuentra daño del tipo A y B al igual que al extremo de la pila número 15, el resto de las estructura de la viga presenta daño tipo D.
- En el área de apoyo, en la pila número 15 se encuentra corrosión tipo A y B al igual que en el extremo de la pila número 16, mientras que en el resto de la estructura de la viga mostró daño tipo C.
- En el área de apoyo, en la pila número 16 se encontró corrosión del tipo D, en el extremo de la pila número 17 se muestra daño tipo A y B y en el resto de la estructura de la viga daño tipo c.

Tabla 5- Cuadro resumen

Viga	Observación	Daño tipo A (%)	Sup. Prep. (%)	Sup. Reemp. (%)	Condición
VLE 1-2	PPCM	11	25	36	Reparar
VLE 2-3	PPCM	26	25	51	Reemplazar
VLE 3-5	PPCM	31	25	56	Reemplazar
VLE 5-6	PPCM	44,8	25	70	Reemplazar
VLE 6-7	PPCM	31	25	56	Reemplazar
VLE 7-8	PPCM	38	25	63	Reemplazar
VLE 8-9	PTCM	75	25	100	Reemplazar
VLE 10-11	PTCM	86	25	100	Reemplazar
VLE 11-12	PPCM	48	25	73	Reemplazar
VLE 12-13	PPCM	30	25	55	Reemplazar
VLE 13-14	PPCM	40	25	65	Reemplazar
VLE 14-15	PTCM	50	25	75	Reemplazar
VLE 15-16	PTCM	77	25	100	Reemplazar
VLE 16-17	PPCM	40	25	65	Reemplazar

Fuente: Informe Final, Estudio sobre el estado estructural del Muelle Vergara, RFA (2007).

- PPCM: Pérdida parcial de características mecánicas.
- PTCM: Pérdida total de características mecánicas.
- Sup. Prep.: Superficie de preparación para realizar la reparación del daño de la viga.
- Sup. Reemp.: Superficie total de reemplazo considerando la superficie de preparación.

Principalmente en esta revisión se pudo verificar el estado de las vigas longitudinales externas, y se llegó a la conclusión de que la mayoría de estas presentaban un gran deterioro, principalmente corrosión o daño del tipo A, con una vida útil cercana a 0, esto quiere decir que la estructura no es capaz de resistir a las cargas que se ve solicitada como pueden ser los sismos o los oleajes. Dado esto, se presenta como opción el reemplazo de todas estas vigas debido a que su reparación implicaría un costo muy alto.

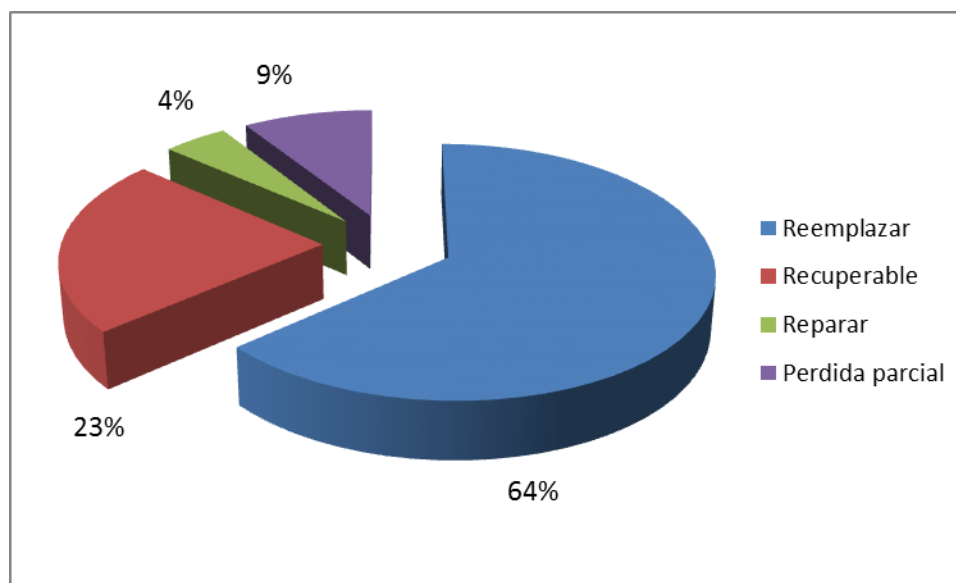
3.2.1.3 Resultados del estado de las vigas transversales metálicas.

Tabla 6- Cuadro resumen

Viga	Daño tipo A y B	Daño tipo B y C	Medidas
VT1	En toda la viga	-	Reemplazo
VT2-VT6	Sectores puntuales de la viga	-	Recuperable
VT7-VT12	Sectores puntuales de la viga	-	Recuperable
VT13-VT18	Sectores puntuales de la viga	-	Recuperable
VT19-VT24	-	Sectores puntuales de la viga	Recuperable
VT25-VT30	-	Sectores puntuales de la viga	Recuperable
VT31-VT36	Área importante de la viga	-	Pérdida parcial
VT37-VT41	Área importante de la viga	-	Pérdida parcial

Fuente: Elaboración propia (2017).

Gráfico 3- Análisis de resultados



Fuente: Elaboración propia (2018).

3.2.1.2 Resultados del estado de las vigas longitudinales internas metálicas.

La estructura de envigado interno que constituye el muelle presenta daño o corrosión del tipo B y C, de las cuales en algunas de estas vigas se encuentran en peor estado como es el caso del cabezo del muelle con desprendimiento total o parcial y con corte de algunas de las vigas sujetas a la estructura.

Las vigas longitudinales internas que presentaban corte son:

- VLI 41-A'
- VLI41-B'
- VLI41-C'
- VLI41-D'
- VLI41-E'
- VLI41-F'
- VLI33-F
- VLI32-E
- VLI32-F

Las vigas que presentan daño con pérdida total y que está relacionado a la corrosión del tipo B y C son:

- VLI32-B
- VLI30-E
- VLI30-F
- VLI29-F
- VLI20-A

3.2.1.4 Remaches en las uniones de las vigas.

Los daños que se encontraron en los remaches presentes en las escuadras, que cumplen la función de ensamblar las vigas, son de carácter grave, ya que presentan alrededor del 40% de corrosión principalmente en la cabeza de estos, donde hay pérdida de masa principalmente en la cabeza del remache.

3.2.2 Pilas del Muelle Vergara

La estructura principal del Muelle Vergara está soportada por catorce pilas de hormigón (de diámetros y formas diferentes) que fueron asentadas en el fondo marino conformando dos líneas de pilas ubicadas mar adentro y en zonas intermareal, además de dos pilas de menor diámetro formadas por anillos de acero (de espesor no conocido) y rellenas de hormigón en la zona de playa. (RFA, 2007).

Debido al movimiento del suelo marino por las corrientes se produjo erosión en este, lo que provocó desplazamiento e inclinación de cierta magnitud y notoriedad de las pilas número 2 y número 16, por lo que tuvieron que ser reforzadas con hormigón para evitar un colapso del Muelle.

Según la inspección visual realizada en la zona aérea de la pila, se pudo constatar un daño de nivel medio a pesar de la antigüedad de la estructura y de la serie de factores en la que se ve expuesto el Muelle, ya sea la misma erosión provocada por las marejadas, donde se presencia corrosión del tipo A y B principalmente en las vigas y en algunas pilas en donde se observa desprendimiento de material en alguna de las caras de esta, como también en la zona de apoyo de las vigas dejando entrever la armadura de las cuales están compuestas, como es el caso de la pila número 1, 9, 15 y 17. También se ha visualizado un asentamiento de las pilas debido a la erosión del fondo marino como es el caso de las pilas número 2 y 16.

En la zona intermareal se observó la misma situación que en la zona no expuesta directamente, en donde se ve un considerable desgaste debido a la corrosión.

En la zona sumergible, se dilucidó que gran parte de los componentes de la estructura como el tablaestacado, debido a la erosión y corrosión, sufrió diversos cortes e incluso la desaparición de este, dejando desprotegido al hormigón.

Tabla 7- Dimensiones de las pilas

N° Pila	Forma	Diámetro (m)	Altura (m)
1	Cilíndrica	2,9	3,6
2	Cilíndrica Irregular	4,5	5,8
3	Cilíndrica Escalonada	5,4	4,6
4	Cilíndrica	5,4	4,6
5	Cilíndrica	4,65	4,5
6	Cilíndrica	4,6	4,4
7	Cilíndrica	4,4	5,9
8	Cilíndrica	4,4	5,9
9	Cilíndrica con Base Irregular	5,1 como máximo 4,65 como medio	4,6
10	Cilíndrica con Base Irregular	5,45 como máximo 4,65 como medio	4,6
11	Cilíndrica	4,4	5,5
12	Cilíndrica	4,9	4,45
13	Cilíndrica	4,65	4,9
14	Cilíndrica	4,7	4,45
15	Cilíndrica Escalonada	3,6	5,45
16	Cilíndrica Irregular	4,5	6
17	Cilíndrica	3	3,6

Fuente: Informe Final, Estudio sobre el estado estructural del Muelle Vergara, RFA (2007).

Tabla 8-Descripción de daños registrados

N° pila	Dimensiones del daño			Ubicación
	Profundidad	Ancho	Altura	
9	40 cm	120 cm	60 cm	Lado posterior bajo
	60 cm	100 cm	50 cm	Lado posterior alto
10	50 cm	120 cm	60 cm	Lado posterior bajo
	40 cm	120 cm	50 cm	Lado posterior alto
8	70 cm	120 cm	70 cms	Lado interior bajo
	30 cm	100 cm	30 cm	Lado interior medio Noreste
	40 cm	50 cm	40 cm	Lado interior medio Norte
	50 cm	160 cm	50 cm	Lado posterior Sureste
	80 cm	1/2 perímetro	50 cm	Desde Noreste hasta Sureste
11	-	-	-	Daños menores
12	-	-	-	Daños menores
7	-	-	-	Daños menores
6	-	-	-	Daños menores
**2	-	-	-	Sin registros, pila ubicada en zona intermareal
**16	-	-	-	Sin registros, pila ubicada en zona intermareal
*3	-	-	-	Sin registros, zona de difícil acceso
*5	-	-	-	Sin registros, zona de difícil acceso
*15	-	-	-	Sin registros, zona de difícil acceso
13	100 cm	360°	80 cm	Todo el perímetro
	90 cm	360°	70 cm	Todo el perímetro

Fuente: Informe Final, Estudio sobre el estado estructural del Muelle Vergara, RFA (2007).

Observaciones: Debido al difícil acceso a las pilas número 3, 5, 14 y 15 por parte del equipo a cargo de la inspección de las pilas se determinó que estas tenían un daño medio, esto quiere decir que tienen un grado de socavación de nivel intermedio.

Figura 16- Estado Muelle Vergara



Fuente: http://img.emol.com/2011/10/19/File_2011101914113.jpg

3.2.2.1 Tablaestacado

El tablaestacado original del muelle está compuesto por tablas de acero con espesor no determinado, que están sujetas entre sí que por medio de remaches. Dichas tablas están unidas al hormigón de las pilas, con una longitud variable por cada pila, dependiendo de la profundidad de la fundación de la pila o del suelo marino.

Tabla 9- Longitud del Tablaestacado

N° Pila	Longitud (m)
2	0,3
3	1
5	3
6	3,8
7	4,5
8	5,5
9	6
10	6
11	5,5
12	4,5
13	3,8
14	3
15	1
16	0,3

Fuente: Informe Final, Estudio sobre el estado estructural del Muelle Vergara, RFA (2007).

Figura 17- Tablaestacado de la pila número 11



Fuente: MOP

Capítulo 4: Análisis del método constructivo utilizado en la remodelación del Muelle Vergara.

4.1 Demolición y retiro del tablero del muelle.

El tablero componente del muelle estaba estructurado por madera cubierto por asfalto en conjunto a rejillas, estructuras de madera, entre otros, el cual fue retirado en su totalidad, llevando los escombros a botaderos, y en el caso de la madera debió ser quemada para evitar propogación de plagas.

4.2 Demolición y retiro de la estructura metálica.

Se hizo retiro de todo elemento metálico especificado ya sea el retiro de las escuadras metálicas presentes en las pilas, vigas en mal estado, pasarela de acceso y barandas como también la demolición del estribo existente.

4.3 Pilas del Muelle Vergara.

4.3.1 Pilas número 1 y 16.

Para la limpieza de las superficies de las pilas número 1 y 16, se utilizó un chorro de arena dejando el metal presente en estas con un aspecto casi blanco para luego retirar todo el polvo que haya quedado por medio de un chorro de aire comprimido.

Se retiraron todos los sectores de acero que poseían un nivel de espesor menor a los 8 mm, debiendo ser retirados por secciones rectangulares para luego ser repuestas.

Se hizo una visualización a las pilas a modo de contabilizar las grietas, para así determinar su dimensión, en el caso de que las grietas variaran entre los 0,2 m y 30 mm se procedió a aplicar Sikadur® 53³, para grietas mayores a 30 mm, se aplicó además de Sikadur® 53, Filler Sika⁴.

Luego de la reparación de las grietas en el hormigón se procedió a colocar las placas metálicas. Estas placas serían de 12 mm de espesor, calidad ASTM A36, su instalación sería mediante soldadura E70 a las placas existentes en la pila que estuviesen en buen estado. (Ministerio de Obras Públicas. 2014. Reparación Muelle Vergara: Especificaciones técnicas especiales. Valparaíso, Chile)

Las nuevas placas se instalarán junto con las placas existentes que no presenten corrosión significativa, salvaguardando sellar todo hormigón que pudiese tener contacto con el agua salina, de esta forma se optó por una soldadura de 10 mm como mínimo.

Para permitir la adecuada instalación de la estructura metálica componente del tablero estructural del muelle, se debió nivelar en su parte superior las pilas número 1 y 16, para esto se debió remover parte del hormigón dañado, dejando una superficie rugosa apta para aplicar un puente de adherencia tipo Colmafix 32⁵, además se consideró la adhesión de acero estriado, calidad A420H, conjuntamente con la aplicación de Sikadur 53.

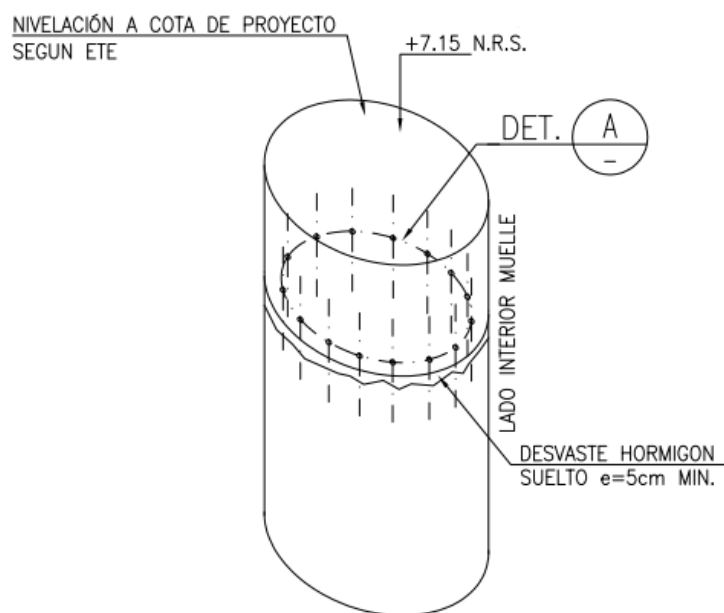
³ Sistema epóxico líquido insensible a la humedad, inyectable para sellar grietas húmedas y bajo el agua, con alta presión.

⁴ Mezcla de áridos silicios o agregos sintéticos de variados tamaños, utilizado para agregados en revestimientos y morteros de resinas

⁵ Puente de adherencia en base resinas epóxica Sika

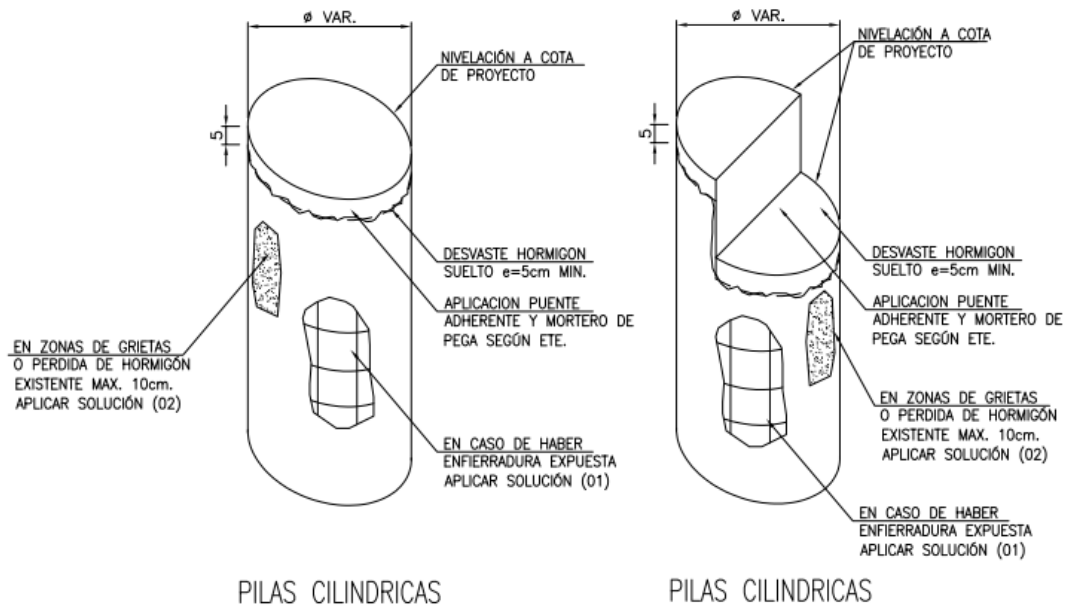
Conjuntamente se utilizó un hormigón G30 con un 90% de nivel de confianza, con una dosis mínima cemento de 365 kg/m^3 , en donde el cono de vigas, muros, pilares y losas estará en el rango entre los 6 a 10 centímetros y respecto a fundaciones fue de cono entre 5 y 8 centímetros, regido principalmente por el manual de carreteras, volumen 5.

Figura 18- Esquema reparación de las pilas número 1, 4, 5, 12, 13 y 16



Fuente: MOP

Figura 19- Esquema de pilas con diversos grados de daño



Fuente: MOP

Tabla 10- Asentamiento de cono de Abrams

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	TIPO DE COMPACTACIÓN SEGÚN ASENTAMIENTO DE CONO			
	MANUAL (*)		CON VIBRADOR (**)	
	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
Zapatas armadas	6	10	4	8
Cimientos simples	5	10	2	7
Elementos de hormigón armado	6	12	5	10
Grandes masas	5	8	2	5
Pavimentos	5	7	2	5
Elementos prefabricados	-	-	0	5
Hormigón bajo el agua	15	20	-	-

Fuente: Ministerio de obras públicas. Manual de carreteras. Volumen número 5 – Especificaciones técnicas generales de construcción. (2017).

La aplicación de un sistema de protección anticorrosiva fue aplicado tanto a las placas que ya estaban presentes, que previamente fueron limpiadas, como a las placas de reposición, lo que debió cumplir cierto estándar de espesor seco de alrededor de 700 micrómetros de un recubrimiento del tipo epóxico, resistente a los impactos y a la abrasión, por lo que se debió realizar una medición del espesor por cada 2 metros cuadrados de avance según lo detalló la especificación técnica del proyecto y será medido por instrumento tipo magnético tipo Elcometer 345 o similar.

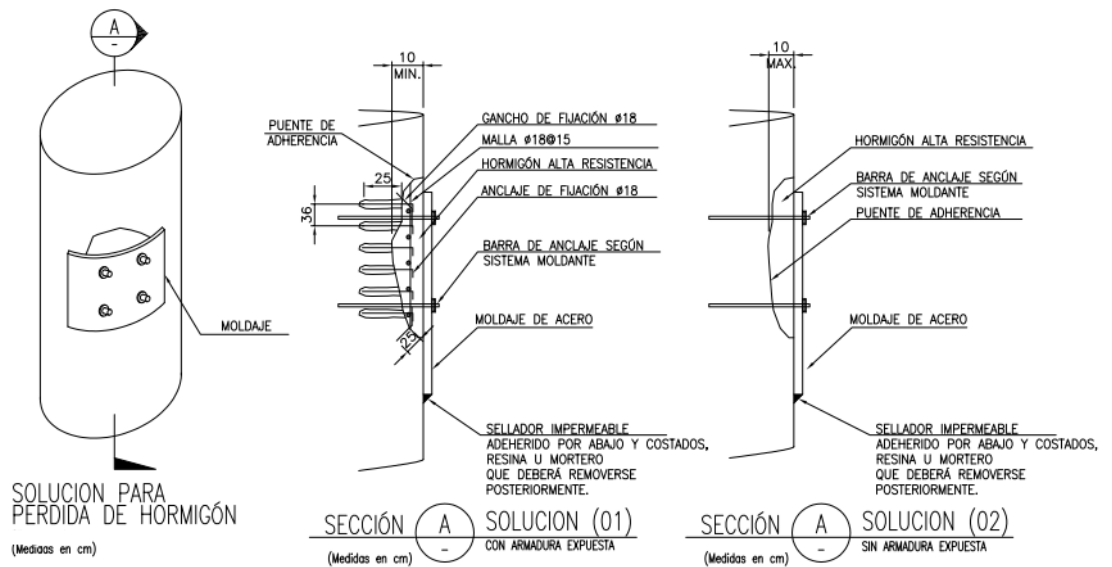
4.3.2 Pilas número 2 al 15 y número 17.

Prevía visualización de las pilas, en la cual se pudo determinar el grado de daños en el hormigón y placas componentes de las pilas, se procedió a reparar a todos los sectores que presentaban signos de corrosión u oxidación y, en el caso del hormigón, cuando las pilas presentaban pérdidas mayor a 1 centímetro de recubrimiento.

La reparación de estas pilas consistió en picar el hormigón hasta encontrar uno denominado sano o que cumpliera con los requisitos de soportar las cargas solicitantes, además se debió eliminar el hormigón “cuasi-desprendido”, utilizando un martillo eléctrico y no un neumático, ya que podría haber provocado daño en el hormigón aún sano de la estructura.

En las barras corroídas se descubrió la armadura hasta que dejó de aparecer corrosión, eliminando completamente la herrumbre de las barras. Si toda la barra se encontraba corroída, se picó el hormigón hasta dejar 2 cm de holgura entre la parte posterior de la barra y el hormigón picado. (Ministerio de Obras Públicas. 2014. Reparación Muelle Vergara: Especificaciones técnicas especiales. Valparaíso, Chile)

Figura 20- Esquema soluciones constructivas frente a los daños presente en las pilas



Fuente: MOP

Luego de picar la zona comprometida conformando ángulos rectos y superficies parejas, se procedió a limpiar la superficie con raspadores y escobillas de acero, de manera de limpiar armaduras y hormigón suelto (MOP, 2014).

Se debió lavar con chorro de agua a presión y mantener saturada la superficie de contacto durante 24 horas, suspendiendo el mojado la noche anterior al día en que se reiniciara el hormigonado. (Ministerio de Obras Públicas. 2014. Reparación Muelle Vergara: Especificaciones técnicas especiales. Valparaíso, Chile)

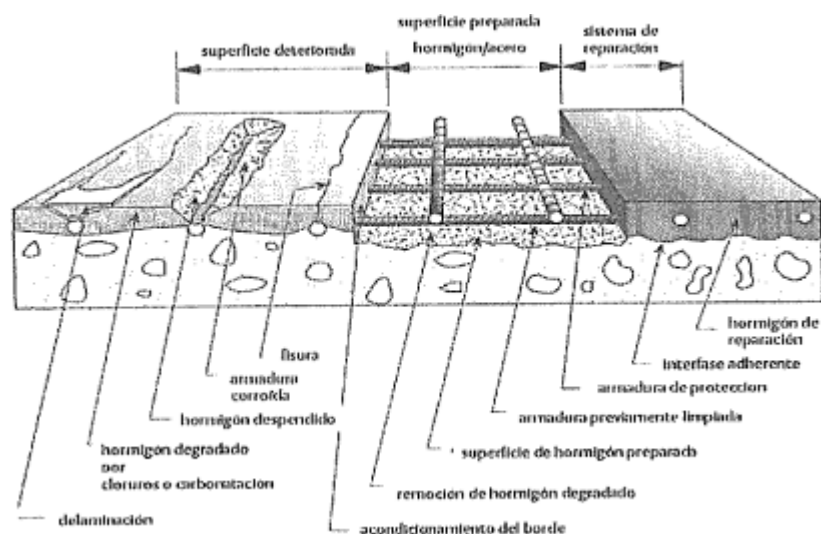
Para la reparación y sellado de las grietas presentes en las pilas, se procedió a aplicar el mismo método de reparación aplicado en las pilas número 1 y 16.

Para la reparación de la superficie de las pilas anteriormente mencionadas, según corresponda el caso y en que fue necesario el reemplazo parcial de la armadura presente en las pilas, se utilizó acero calidad A420H con resalte, las que no debieron estar previamente dobladas ni tener presencia de polvo, barro, aceites, grasas, pinturas, óxido u otras sustancias que afecten la adherencia del hormigón a las barras de acero, también mediante escobillado de las barras se debió eliminar todo rastro de elementos como cemento, mortero o otros elementos.

El proceso de reparación de las pilas fue establecido a partir de la secuencia detallada a continuación:

- Aplicación de un inhibidor corrosivo para las armaduras insertadas en el hormigón sano
- Aplicación de un puente de adherencia
- Colocación de armadura, específicamente una malla fi18@15 centímetros tanto vertical como horizontalmente, esta armadura debió quedar adherida al hormigón sano por lo menos 250 milímetros mediante barras fi18 y adheridas con epóxico Sikadur 53 o similar.
- Colocación de moldaje estanco
- Aplicación mortero de reparación mediante mecanismos de bombas

Figura 21- Esquema de reparación de las pilas



Fuente: MOP

Se procedió a nivelar las pilas con el mismo método constructivo utilizado en las pilas número 1 y 16.

Para la impermeabilización de la superficie de hormigón, que estaba en contacto directo con el ambiente marino, se utilizó Sikatop Flex⁶ o similar.

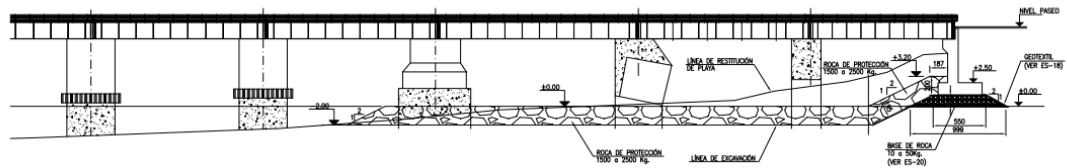
El análisis de las pilas, las cuales tenían contacto directo con el fondo marino, se basó en la inspección visual mediante buzos especializados, los cuales debieron tomar fotografías del estado de las pilas para su posterior análisis.

Para la excavación submarina se consideró el talud especificado en los planos, el cual debe ser adecuado para evitar caídas de material, la pendiente de este se dejó a criterio de la empresa constructora.

En las pilas número 7 a la número 12 se le aplicó un enrocado con el fin de ejercer presión a modo de protección del muelle.

⁶ Mortero impermeable flexible de dos componentes, a base de cementos y polímeros.

Figura 22- Esquema de reparación de las pilas



Fuente: MOP

4.4 Apoyos de las vigas

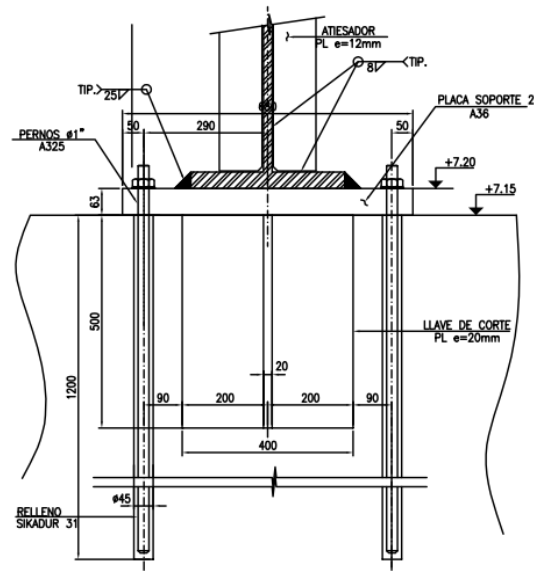
En esta partida de la remodelación se consideraron las placas de apoyo para las vigas como también los apoyos fijos y deslizantes, además se debió considerar el acero estructural componente de las vigas, pernos, perforaciones, mortero de nivelación y el producto epóxico utilizado para la adherencia, para esto fue utilizado Sikadur 31⁷

- Apoyos fijos: Apoyo fijado mediante pernos, en la cual se fijó la VL1, VL2 y VL3 por medio de soldadura tipo filete⁸ de mínimo 25 milímetros.
- Apoyos deslizantes: Placa adherida mediante pernos, presente en las VL1, VL2 y VL3 posicionada transversalmente, siendo posicionada en el sacado que deja la placa adherida a la pila, lo que permite el libre movimiento de la viga.

⁷ Gel adhesivo de dos componentes en base a resinas Sika.

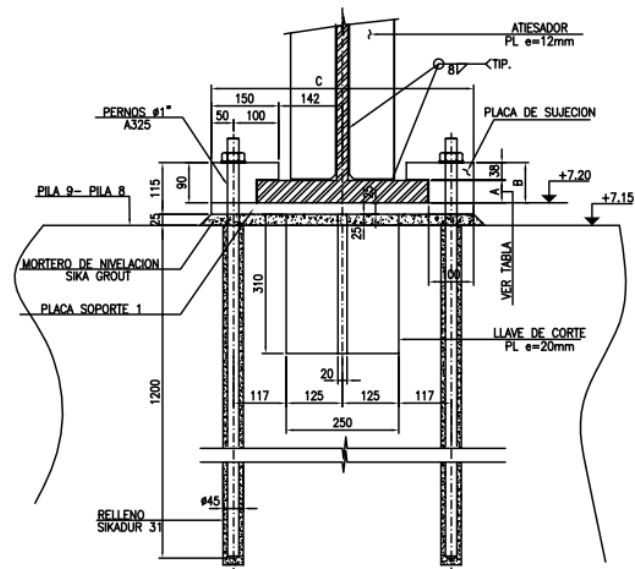
⁸ La soldadura tipo filete se usa de relleno para los bordes de placas generadas en esquinas, sobrepuestas y en T.

Figura 23- Solución apoyos fijos de VL1, VL2 y VL3



Fuente: MOP

Figura 24- Solución apoyos deslizantes de VL1, VL2, VL3, VL3* y VL13



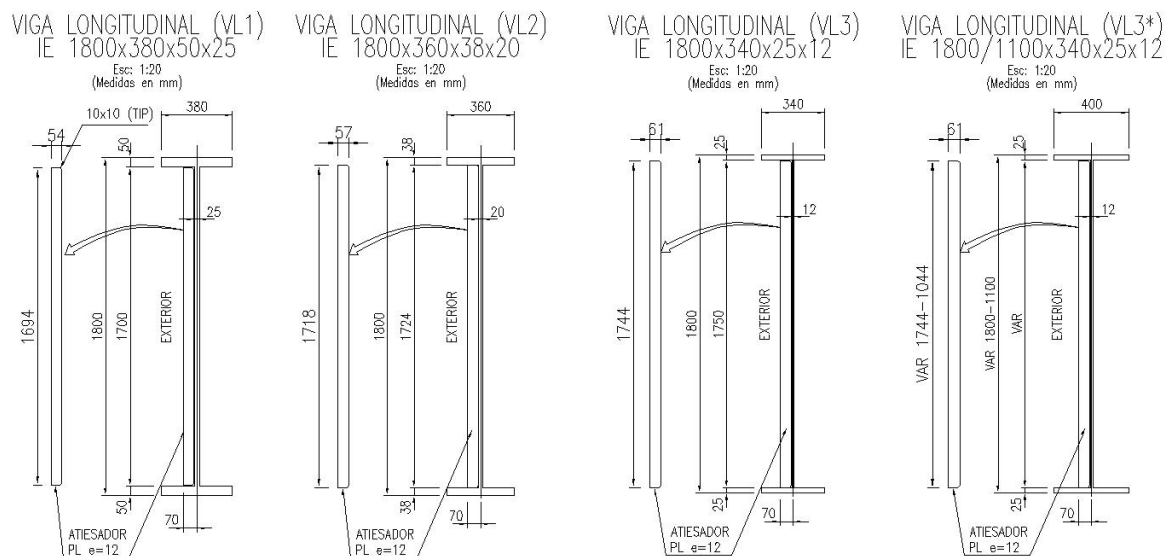
Fuente: MOP

4.5 Vigas longitudinales y transversales.

Las vigas transversales se apoyan sobre las vigas longitudinales como estas en las pilas de la estructura del Muelle Vergara, que se rigieron bajo la calidad ASTM A-36 (esfuerzo mínimo 36 ksi⁹, 2530 kg/cm²) o superior, y debieron llevar protección anticorrosiva. Además se estableció un nuevo emplazamiento para las vigas, respecto al anterior determinado por el informe realizado por RFA (ver anexo número 1).

Estas debieron ser fabricadas en base a los largos continuos requeridos, sin ninguna modificación a estas.

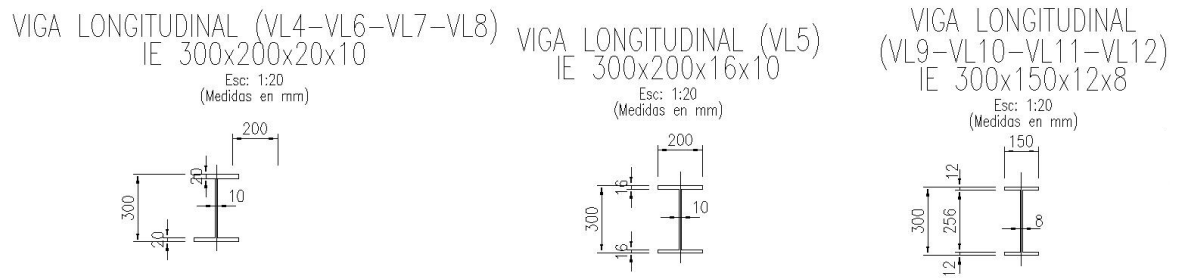
Figura 25- Detalles de vigas longitudinales



Fuente: MOP

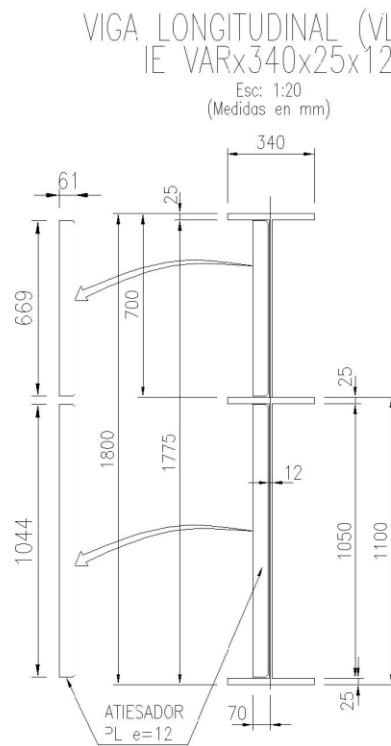
⁹ Unidad de medida de presión en el sistema inglés.

Figura 26- Detalles de vigas longitudinales



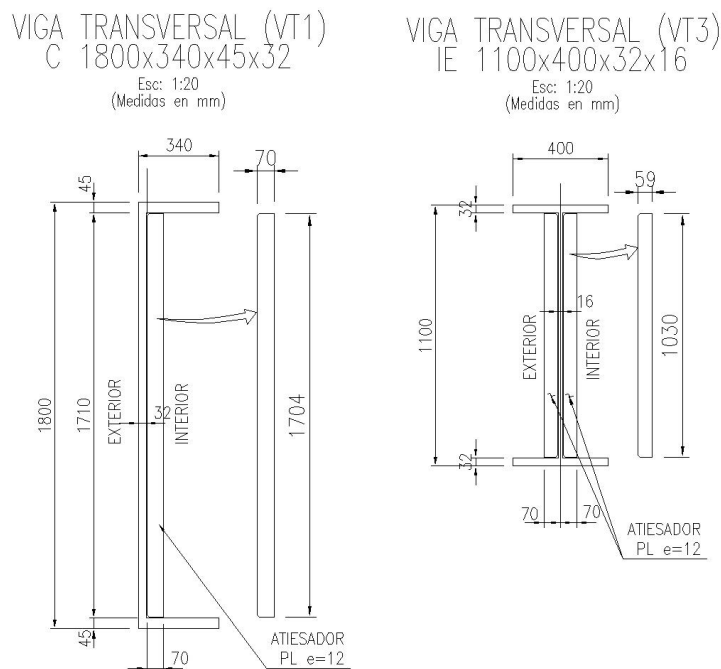
Fuente: MOP

Figura 27- Detalles de vigas longitudinales



Fuente: MOP

Figura 28- Detalles de vigas transversales



Fuente: MOP

En lo que se refiere a las vigas travesaño secundarias, se instalaron 4 tipos en los tramos donde las vigas longitudinales no estaban apoyadas en las pilas, y tenían las siguientes dimensiones según lo establecieron las especificaciones técnicas.

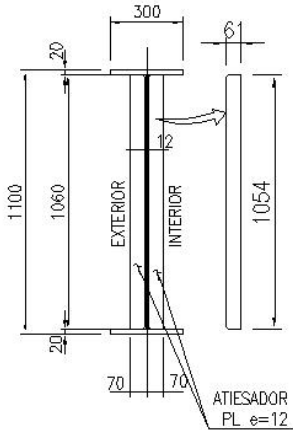
Tabla 11- Medidas vigas travesaño

Vigas travesaño secundarias	Tramos
IE 1100x300x20x12	8 y 9
IE 1100x380x32x16	5, 6 y 7
IE 1100x150x16x12	1 al 4

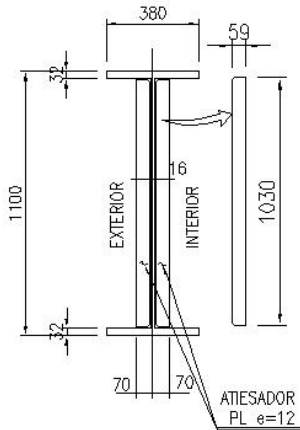
Fuente: Ministerio de Obras públicas. Especificaciones técnicas especiales-Reparación Muelle Vergara. (2014).

Figura 29- Detalles de vigas travesaño secundarias

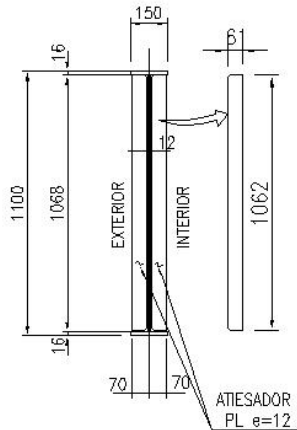
VIGA TRANSVERSAL (VT2)
IE 1100x300x20x12
Esc: 1:20
(Medidas en mm)



VIGA TRANSVERSAL (VT4)
IE 1100x380x32x16
Esc: 1:20
(Medidas en mm)



VIGA TRANSVERSAL (VT5)
IE 1100x150x16x12
Esc: 1:20
(Medidas en mm)



Fuente: MOP

Conclusión

- Debido a la nula mantención del Muelle, a lo largo de los años se fue generando un progresivo desgaste en toda la estructura, situación que pudo haberse evitado aplicándose medidas de restauración y conservación a las distintas partes del muelle, ya sea la incorporación de sustancias epóxicas inyectables y resinas para sellar grietas húmedas y bajo el agua como también la inclusión de hormigón, que posea los requerimientos básicos, con terminaciones lisas y con un curado efectivo, que pudo evitar desgaste en la estructura del muelle tanto en su infraestructura y superestructura.
- Se llegó a la conclusión de que el 75% de las vigas metálicas externas poseían una superficie muy irregular, esto se generó principalmente por su ubicación debido a la mayor exposición al ambiente salino, dando como resultado su reemplazo debido a que la mayoría presentaba corrosión del tipo A y B, variando el porcentaje de daño a medida que el muelle ingresa en la bahía, como es el caso de las primeras vigas ubicadas en el sector del puente en donde se encontró corrosión tipo D en cerca del 90% de su estructura, siendo considerada reparable. Del total de las vigas, considerando vigas longitudinales externas y transversales, se optó por reemplazar cerca del 64% de estas, puesto que se consideraban con un daño suficientemente grande para ser reparadas.

- Al realizar un análisis, se puede concluir que de un total de 17 pilas de hormigón armado que componen el muelle, a 13 se le realizó algún tipo de reparación, correspondiente a casi un 77% de la totalidad de pilas, dado a que algunas poseían daño en todo su perímetro, principalmente con desprendimiento del recubrimiento del acero estructural, lo cual se generó por la falta de impermeabilización de las pilas y de una composición del hormigón muy rudimentaria dada la fecha de construcción del Muelle (126 años).
- Para la mantención de los materiales componentes del Muelle, se debería realizar y considerar un análisis cíclico, preventivo y constante de estos, a fin de evitar nuevos desgastes. Lo que implicaría un ahorro de tiempo y costos asociados, además considerar la aplicación de nuevas tecnologías e innovaciones constructivas, sea el caso del acero con la aplicación de ánodos de sacrificio y la protección de estos elementos, ya sea con pintura anticorrosiva como también la incorporación de zinc a los perfiles estructurales, así como también el mejoramiento de los métodos constructivos utilizados ya que estos influyen directamente en la duración, seguridad y calidad de las estructuras.
- Para la construcción de cualquier muelle que esté en constante contacto con factores que puedan afectar su integridad y seguridad, se deben considerar todos los factores y métodos constructivos recomendados tanto en las Normas Chilenas como las que recomiendan los distintos proveedores de productos protectores e impermeabilizantes de distintos materiales, ya sea acero, hormigón armado e incluso madera.

Bibliografía

Aliaga G., Castillo C. (2009). Aspectos relevantes de cimentación con pilotes y proceso constructivo de muelle artesanal (Tesis de Pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.

Arellano C., Morales O. (2013). Sistemas de colocación de hormigón bajo agua en ambiente marino (Tesis de Pregrado). Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile.

Monteverde J., Janpierre A. (2014). Análisis comparativo entre pilotes hincados y moldeados en muelle de contenedores (Tesis de Pregrado). Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú.

Ilustre Municipalidad de Viña del Mar. (2007). Estudio sobre el estado estructural del Muelle Vergara.

Universidad de Buenos Aires. (2009). Colocación de hormigón bajo agua por el procedimiento Tremie. Recuperado de: <http://materias.fi.uba.ar/7411/curso/TP2/teoria/tremie.pdf>

Instituto Nacional de Normalización. (2016). Norma NCh170. Hormigón – Requisitos generales.

Ministerio de Obras Públicas. (2014). Reparación Muelle Vergara: Especificaciones técnicas especiales. Valparaíso, Chile.

Ministerio de obras públicas. (2014). Reperación Muelle Vergara (Memoria Explicativa). Valparaíso, Chile.

Bermúdez M.A. (2007). Corrosión de las armaduras del hormigón armado en ambiente marino: zona de carrera de mareas y zona sumergida (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

Ministerio de Obras Públicas. (2017). Manual de Carreteras. Especificaciones técnicas generales de construcción, (5). Chile.

Juanola R. (2011 – 2012). Construcción de obras marítimas. Instalaciones portuarias (Tesis de Pregrado). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Anexos

Anexo 1: Distribución envigado Muelle Vergara

